

19



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

11

Veröffentlichungsnummer:

**0 242 602  
A2**

12

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21

Anmeldenummer: 87104111.7

51

Int. Cl. 4: H01J 37/10

22

Anmeldetag: 20.03.87

30

Priorität: 24.04.86 DE 3613915

43

Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
28.10.87 Patentblatt 87/44

64

Benannte Vertragsstaaten:  
AT CH DE FR GB IT LI NL SE

71

Anmelder: Siemens Aktiengesellschaft Berlin  
und München  
Wittelsbacherplatz 2  
D-8000 München 2(DE)

72

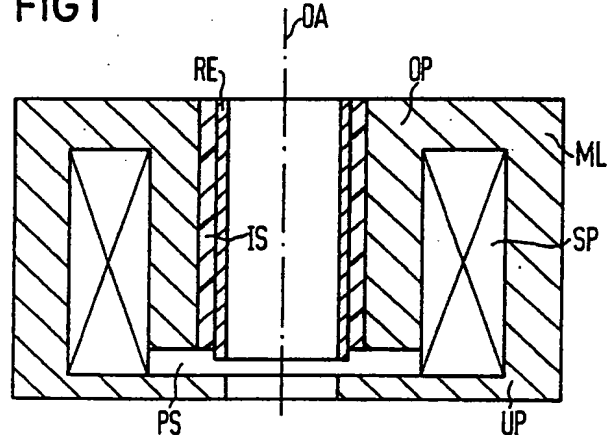
Erfinder: Frosien, Jürgen, Dr.  
An der Ottosäule 18  
D-8012 Ottobrunn(DE)  
Erfinder: Piles, Erich, Dr.  
Firlestrasse 15  
D-8000 München 83(DE)

54

**Elektrostatisch-magnetische-Linse für Korpusteilstrahlgeräte.**

57 Eine erfindungsgemäße elektrostatisch-magnetische-Linse besteht aus einer symmetrischen oder unsymmetrischen Magnetlinse (ML), der eine elektrostatische Immersionslinse überlagert ist. Eine Elektrode (RE) der Immersionslinse ist hierbei in Form eines Hohlzylinders ausgebildet, der im oberen Polschuh (OP) der Magnetlinse (ML) konzentrisch zu deren Symmetrieachse (OA) angeordnet wird und sich bis in den Bereich des Polschuhspaltes (SP) erstreckt. Der untere Polschuh (UP) der Magnetlinse (ML), der vorzugsweise auf Erdpotential liegt und zum Schutz gegen Kontamination mit einem Strahlführungsrohr (SF) aus magnetischem oder unmagnetischem Material ausgekleidet sein kann, bildet erfindungsgemäß die untere Elektrode der elektrostatischen Immersionslinse.

FIG 1



EP 0 242 602 A2

### Elektrostatisch-magnetische-Linse für Korpuskularstrahlgeräte

Die Erfindung bezieht sich auf eine elektrostatisch-magnetische-Linse für Korpuskularstrahlgeräte.

In allen Bereichen der Entwicklung und Fertigung mikroelektronischer Bauelemente werden gegenwärtig Korpuskularstrahlgeräte eingesetzt, mit denen man Verfahrensschritte zur Herstellung integrierter Schaltungen kontrolliert, Masken und Wafer inspiziert oder Mikrostrukturen im Rahmen der Elektronenstrahl-Lithografie erzeugt. Besondere Bedeutung haben modifizierte, mit Gegenfeldspektrometern und schnellen Strahlaustastsystemen ausgestattete Raster-Elektronenmikroskope erlangt, mit denen Logik- und Designfehler in hochintegrierten Schaltungen, beispielsweise durch Messung des zeitlichen Spannungsverlaufes an ausgewählten Knotenpunkten, schon während der Entwicklungsphase erkannt und beseitigt werden können. Um Aufladungen und/oder Schädigungen strahlungsempfindlicher Proben zu vermeiden, betreibt man diese Geräte vorwiegend bei niedrigen Beschleunigungsspannungen zwischen etwa 0,5 und 5 kV, wo hochauflösende Untersuchungen mit konventionellen Raster-Elektronenmikroskopen nicht mehr durchführbar sind. In allen Bereichen der Halbleiterindustrie besteht deshalb ein steigender Bedarf an leistungsfähigen Niederspannungs-Rasterelektronenmikroskopen zur Durchführung schneller und hochauflösender Untersuchungen an mikroelektronischen Bauelementen.

Die durch den Strahldurchmesser  $d$  auf der Probe vorgegebene Auflösung eines Raster-Elektronenmikroskopes wird bei niedrigen Beschleunigungsspannungen im wesentlichen von der der Fokussierung entgegenwirkenden Coulomb-Abstoßung der Elektronen (Boersch-Effekt) und dem axialen Farbfehler der abbildenden Linsen bestimmt, der nach der unten angegebenen Beziehung mit dem Farbfehlerkoeffizienten  $C_F$  und bei gleichbleibender Breite der Energieverteilung der Elektronen, mit abnehmender Primärenergie anwächst. Für den die Auflösung bestimmenden Sondendurchmesser  $d$  auf der Probe gilt hierbei die bekannte Beziehung

$$d = (d_o^2 + d_F^2)^{1/2}$$

wobei  $d_o$  den um die Coulomb-Abstoßung der Elektronen zwischen Strahlerzeuger und Probe (lateraler Boersch-Effekt) erweiterten geometrisch-optischen Sondendurchmesser und  $d_F$  den Durchmesser des durch den Farbfehler erzeugten Farbfehlerscheibchens bezeichnet, der über die Beziehung

$$d_F = C_F \cdot \alpha \cdot \Delta U/U$$

von der Strahlapertur  $\alpha$ , dem Farbfehlerkoeffizienten  $C_F$  der Linse, der Primärenergie  $eU$  und der Breite der Energieverteilung  $e\Delta U$  der Elektronen

abhängt. Eine Verbesserung der Auflösung kann daher nur durch eine Reduktion der nachteiligen Einflüsse der Elektron-Elektron-Wechselwirkung (Reduktion des die Energiebreite  $e\Delta U$  beeinflussenden energetischen Boersch-Effektes und des den Sondendurchmesser beeinflussenden lateralen Boersch-Effektes) und der Farbfehlerkonstanten  $C_F$  der verwendeten Linsen erreicht werden.

Aus der Veröffentlichung von R.F.W. Pease "Low Voltage Scanning Electron Microscopy" (Record of the IEEE 9th Annual Symposium on Electron, Ion and Laser Beam Technology, Berkeley, 9-11 May 1967, Seite 176-187) ist ein Rasterelektronenmikroskop bekannt, in dem die zunächst auf hohe kinetische Energien beschleunigten Primärelektronen in einem unmittelbar oberhalb der Probe aufgebauten elektrischen Gegenfeld auf die gewünschte niedrige Endenergie abgebremst werden. Durch Messung des Strahlquerschnittes auf der Probe konnte man zeigen, daß die Objektlinse der Anordnung bei Gegenfeldbetrieb deutlich kleinere Farb- und Öffnungsfehlerkonstanten als die magnetische Einzellinse bei konventionellem Betrieb ohne Gegenfeld aufweist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde eine Linse für Korpuskularstrahlgeräte anzugeben, mit der hochenergetische Korpuskeln auf eine gewünschte Endenergie abgebremst werden können und die kleinere Farb- und Öffnungsfehlerkonstanten als konventionelle Magnetlinsen aufweist. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine elektrostatisch-magnetische-Linse nach Anspruch 1 gelöst.

Der mit der Erfindung erzielbare Vorteil besteht insbesondere darin, daß auch bei hohen Strahlströmen und niedrigen Beschleunigungsspannungen Korpuskularsonden mit kleinem Strahlquerschnitt erzeugt werden können.

Die Ansprüche 2 bis 10 sind auf bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung gerichtet.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnungen näher erläutert, dabei zeigen die Figuren 1 bis 4 erfindungsgemäße elektrostatisch-magnetische-Linsen.

Die in Fig. 1 dargestellte elektrostatisch-magnetische-Linse besteht aus einer symmetrischen oder unsymmetrischen Magnetlinse ML, der eine elektrostatische Immer sionslinse überlagert ist. Um möglichst kleine Brennweiten zu erzielen, wird der mit Hilfe der Erregerspule SP erzeugte magnetische Fluß über die Polschuhe UP und OP geführt und auf einen kleinen Raumbereich um die Symmetrieachse OA des Systems konzentriert, wobei das um diese Achse rotationssymmetrische Magnetfeld seine maximale Stärke im Pol-

schuhspalt PS erreicht. Eine Elektrode der Immersionslinse ist in dem gezeigten Ausführungsbeispiel in Form eines Hohlzylinders RE ausgebildet, der zusammen mit einem ebenfalls zylinderförmigen Isolator IS im oberen Polschuh OP der Magnetlinse ML konzentrisch zu deren Symmetrieachse OA angeordnet wird, und sich bis in den Bereich des Polschuhspaltes PS erstreckt. Der untere Polschuh der Magnetlinse ML, der vorzugsweise auf Erdpotential liegt und, wie in Fig. 2 dargestellt, zum Schutz gegen Kontamination mit einem Strahlführungsrohr SF aus magnetischem oder unmagnetischem Material ausgekleidet sein kann, bildet erfindungsgemäß die untere Elektrode der elektrostatischen Immersionslinse. Ein rotationssymmetrisches elektrisches Verzögerungsfeld baut sich innerhalb der Magnetlinse ML immer dann auf, wenn die Zylinderelektrode RE bezüglich des unteren Polschuhes UP auf positives Potential, insbesondere auf das Potential der Anode des Korpuskularstrahlerzeugers gelegt wird.

Die Abbildungseigenschaften der aus elektrostatischer Immersionslinse und Magnetlinse bestehenden korpuskular-optischen Einheit werden im wesentlichen von den Spannungen der Elektroden und deren Abmessungen und der Magnetfeldstärke im Polschuhspalt PS bestimmt. Es ist deshalb keineswegs erforderlich, daß die Zylinderelektrode RE und die untere Polschuhöffnung gleichen Durchmesser aufweisen.

Die Lage der Zylinderelektrode RE innerhalb der Magnetlinse ML, ihr Durchmesser und ihr Abstand vom unteren Polschuh UP müssen vielmehr den geforderten korpuskular-optischen Eigenschaften des Gesamtsystems angepaßt werden. So läßt sich die Brennweite der elektrostatischen Immersionslinse mit Hilfe einer kreisförmigen Lochblende BL verändern, die innerhalb der Zylinderelektrode RE angeordnet wird oder diese, wie in Fig. 2 dargestellt, im Bereich des Polschuhspaltes PS abschließt. Eine kontinuierliche Veränderung der Brennweite ist möglich, wenn man zwei coaxial liegende Zylinderelektroden RE bzw. SE unterschiedlicher Länge im oberen Polschuhes OP anordnet und die als Steuerelektrode wirkende äußere Zylinderelektrode SE mit geeigneten Spannungen beaufschlagt (siehe Fig. 3). Jede der Zylinderelektroden RE bzw. SE kann hierbei wieder von einer kreisförmigen Lochblende BL abgeschlossen werden.

Die erfindungsgemäßen elektrostatisch-magnetischen-Linsen besitzen aufgrund des dem fokussierenden Magnetfeld überlagerten elektrischen Verzögerungsfeldes deutlich kleinere Öffnungs- und Farbfehlerkonstanten als magnetische Einzellinsen. So werden die im wesentlichen von der Potentialdifferenz zwischen Zylinderelek-

trode RE und unterem Polschuh UP bestimmten Fehlerkonstanten des zusammengesetzten Systems, verglichen mit den Fehlerkonstanten der magnetischen Einzellinse beispielsweise, um etwa einen Faktor 10 reduziert, wenn man die Korpuskeln im elektrischen Verzögerungsfeld der Immersionslinse auf 1/10 ihrer Primärenergie (kinetische Energie im Strahlengang unmittelbar oberhalb der erfindungsgemäßen Linse) abbremst. Die erfindungsgemäßen Linsen besitzen außerdem den Vorteil, daß sich deren leicht berechenbare korpuskular-optische Eigenschaften aufgrund der ausgezeichneten Zentrierbarkeit von elektrischer und magnetischer Linse sehr gut in der Praxis realisieren lassen.

Eine elektrostatisch-magnetische-Linse mit konischer Magnetlinse ML ist in Fig. 4 dargestellt, in der gleiche Bezugszeichen gleiche Anordnungs-elemente wie in den Fig. 1 bis 3 bezeichnen. Konische Objektivlinsen werden beispielsweise in Rasterelektronenmikroskopen eingesetzt, um großflächige Präparate auch in gekipptem Zustand bei kleinem Arbeitsabstand abbilden und untersuchen zu können. Aufgrund ihrer Polschuhform besitzen konische Magnetlinsen allerdings einen großen Spalt PS und damit eine Vergleichsweise lange Brennweite, was zu relativ großen, mit der Brennweite anwachsenden Öffnungs- und Farbfehlerkonstanten führt. Durch die erfindungsgemäße Anordnung einer auf positiven Potential liegenden zylinderförmigen Elektrode RE im oberen Polschuhes OP, werden die Abbildungseigenschaften des aus konischer Magnetlinse ML und elektrostatischer Immersionslinse bestehenden korpuskularoptischen Einheit gegenüber der konischen Einzellinse deutlich verbessert. Diese Verbesserung der Abbildungseigenschaften erreicht man durch die schon beschriebene Verringerung der Fehlerkonstanten und eine Verschiebung der Hauptebenen der konischen Magnetlinse ML in Richtung der Probe, die aufgrund der damit einhergehenden Verkürzung der Brennweite kleinere Aberrationen aufweist ( $C_F \sim$  Brennweite). Auch in diesem Ausführungsbeispiel bildet der vorzugsweise auf Erdpotential liegende untere Polschuh UP wieder eine Elektrode der elektrostatischen Immersionslinse.

Die erfindungsgemäßen elektrostatisch-magnetischen-Linsen werden vorteilhafterweise in Raster-Korpuskularmikroskopen, insbesondere in Raster-Elektronenmikroskopen eingesetzt, in denen der Boersch-Effekt die Auflösung insbesondere bei niedrigen Beschleunigungsspannungen begrenzt und konventionelle Linsensysteme zu große Aberrationen aufweisen. Da der Einfluß des lateralen Boersch-Effektes auf den Sondendurchmesser bei hohen kinetischen Energien abnimmt, die Breite der Energieverteilung der Primärelektronen insbe-

sondere im Strahlerzeuger infolge des energetischen Boersch-Effektes aber deutlich zunimmt, sollten die Elektronen den ersten Strahlüberkreuzungspunkt (Quellen crossover) vorteilhafterweise mit niedrigen Energien (beispielsweise 2 keV) durchlaufen, um sie anschließend auf hohe Energien (beispielsweise 10 keV) zu beschleunigen und erst kurz vor Erreichen der Probe auf die gewünschte niedrige Endenergie (beispielsweise 1 keV) abzubremesen. Die Abbremsung und Fokussierung der Primärelektronen erfolgt hierbei vorteilhafterweise mit Hilfe einer erfindungsgemäßen elektrostatisch-magnetischen-Linse, die eine der konventionellen Kondensorlinsen oder die Objektivlinse in der elektronenoptischen Säule ersetzt und deren Zylinderelektrode RE bei einem angenommenen Kathodenpotential von - 1 kV, einer Beschleunigung der Primärelektronen auf 10 keV und einer gewünschten Endenergie der Primärelektronen von 1 keV auf Anodenpotential, also auf 9 kV liegt.

#### Bezugszeichenliste

BL Blende  
IS Isolator  
ML Magnetlinse  
OA Symmetrieachse der Magnetlinse  
OP oberer Polschuh der Magnetlinse  
PS Polschuhspalt  
RE Zylinderelektrode  
SE hohlzylinderförmige Elektrode  
SF Strahlführungsrohr  
UP unterer Polschuh der Magnetlinse

#### **Ansprüche**

1. Elektrostatisch-magnetische-Linse für Korpuskularstrahlgeräte **gekennzeichnet** durch eine ein nahezu rotationssymmetrisches magnetisches Feld erzeugende Magnetlinse (ML) und eine ein nahezu rotationssymmetrisches elektrisches Feld erzeugende elektrostatische Immersionslinse, die mindestens zwei auf unterschiedlichem Potential liegende Elektroden (RE, UP) aufweist und innerhalb der Magnetlinse (ML) symmetrisch zu deren Symmetrieachse (OA) angeordnet ist.

2. Elektrostatisch-magnetische-Linse nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß ein Polschuh (UP) der Magnetlinse (ML) eine Elektrode der elektrostatischen Immersionslinse bildet.

3. Elektrostatisch-magnetische-Linse nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß mindestens eine der Elektroden der elektrostatischen Immersionslinse in Form eines Hohlzylinders

(RE) ausgebildet und konzentrisch zur Symmetrieachse (OA) im oberen Polschuh (OP) der Magnetlinse (ML) angeordnet ist.

4. Elektrostatisch-magnetische-Linse nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß innerhalb einer der hohlzylinderförmigen Elektroden (SE) eine coaxial zu dieser angeordnete und ebenfalls in Form eines Hohlzylinders ausgebildete zweite Elektrode (RE) vorgesehen ist.

5. Elektrostatisch-magnetische-Linse nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, daß innerhalb mindestens einer der Elektroden (RE, SE) eine leitend mit dieser Elektrode verbundenen Blende (BL) angeordnet ist.

6. Elektrostatisch-magnetische Linse nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch **gekennzeichnet**, daß mindestens eine der Elektroden (RE, SE) von einer Lochblende (BL) abgeschlossen wird.

7. Elektrostatisch-magnetische-Linse nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch **gekennzeichnet**, daß der untere Polschuh (UP) der Magnetlinse (ML) mit einem Strahlführungsrohr (SF) ausgekleidet ist.

8. Elektrostatisch-magnetische-Linse nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **gekennzeichnet** durch eine symmetrische Magnetlinse (ML).

9. Elektrostatisch-magnetische-Linse nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **gekennzeichnet** durch eine unsymmetrische Magnetlinse (ML).

10. Elektrostatisch-magnetische-Linse nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **gekennzeichnet** durch eine konische Magnetlinse (ML).

FIG 1

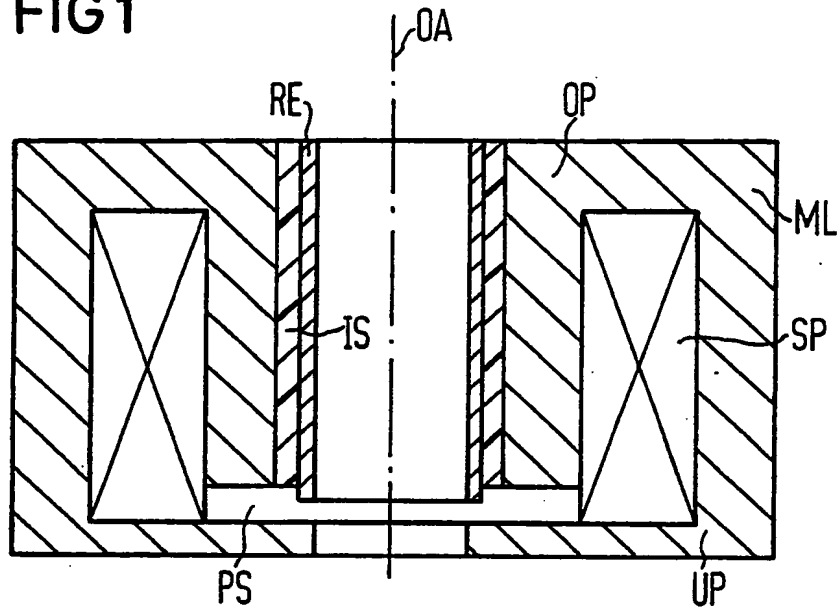


FIG 2

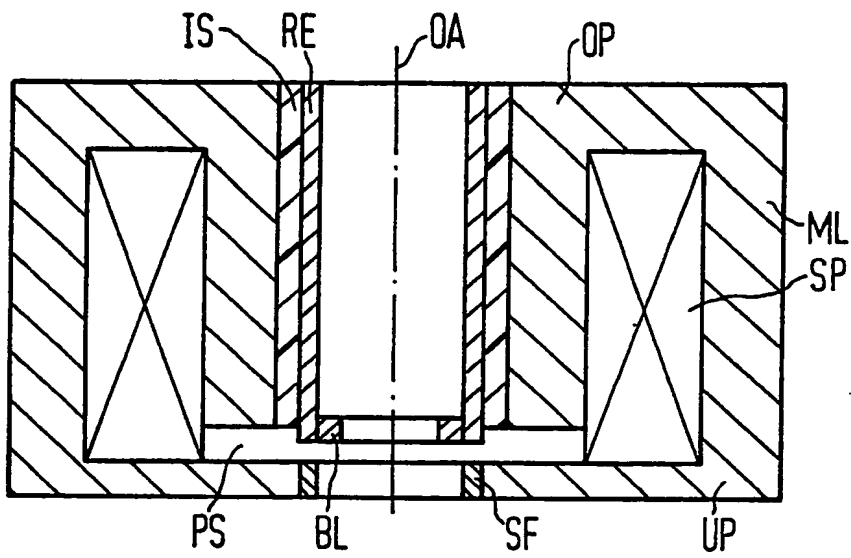


FIG 3

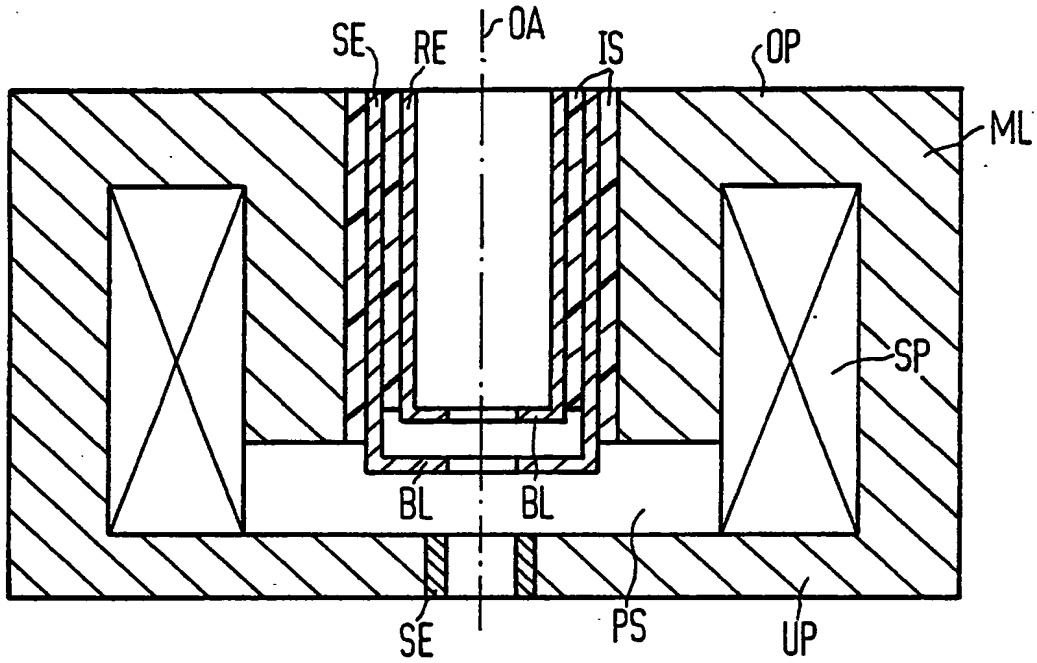


FIG 4

